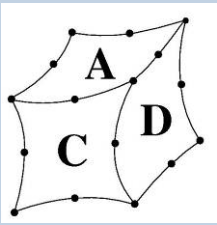


Entwicklung eines Bremsbelagprüfstand mit ProE und LabView

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Reinhard Hackenschmidt
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD, Universität Bayreuth



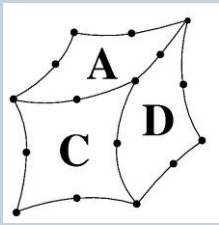
Trends



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

- Automobile werden immer
- schneller
 - leistungsfähiger
 - schwerer

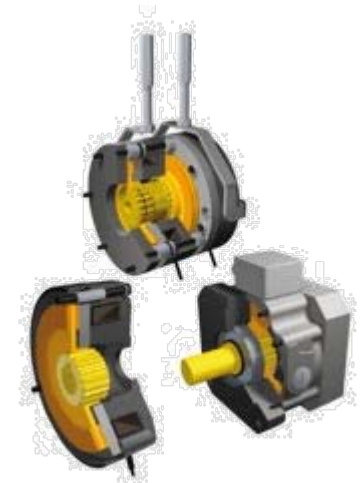




Aufgabenstellung



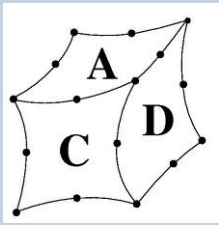
- Anforderungen an die Bremsen steigen
- Keramikkbremsen sind eine interessante Lösung
- Aber eine teure!



=> Interessenten: Automobilindustrie, Industriebremsenhersteller

=> Projekt am LS Keramische Werkstoffe, Prof. Dr.-Ing. Krenkel:

„Entwicklung von kostengünstigen Verbundkeramiken mittels neuer Faser-Matrix-Systeme sowie hybrider Wärmebehandlung“



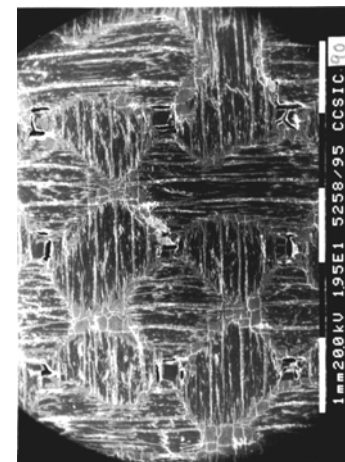
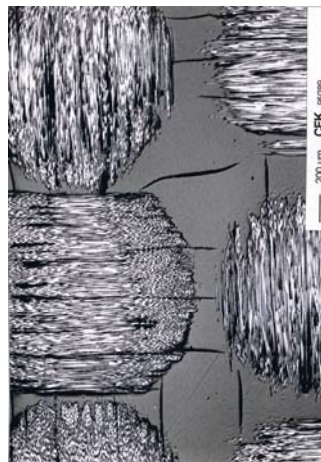
Entwicklung geeigneter Beläge

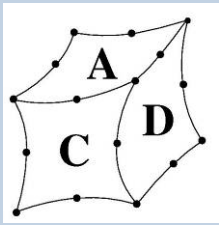
Prinzip: z.B. Flüssigsilicierverfahren

Aufbau einer keramischen Matrix durch die Flüssigphasen-Infiltration von schmelzflüssigem Silicium in poröse Kohlenstoff-Fasergerüste mit anschließender Umwandlung zu SiC

1. **Verfahrensschritt:** Herstellung eines kohlenstofffaserverstärktes Kunststoffteils, dessen Matrix aus einem Kunstharz mit hohem Kohlenstoffgehalt besteht.
2. **Schritt:** Nach der Aushärtung der Matrix wird diese durch Pyrolyse in Kohlenstoff umgewandelt, wobei durch Volumenschrumpfung eine rissbehaftete Mikrostruktur entsteht
3. **Schritt:** Infiltration der porösen Kohlenstoffpreform mit flüssigen Silicium, das größtenteils zu Siliciumkarbid umgewandelt wird.

Als Endprodukt des dreistufigen Prozesses liegen C/C-SiC-Werkstoffe vor, die aus lasttragenden Kohlenstofffasern und amorphem Kohlenstoff (C) oder aus kristallinem Siliciumkarbid (SiC) als Matrixkomponenten bestehen.

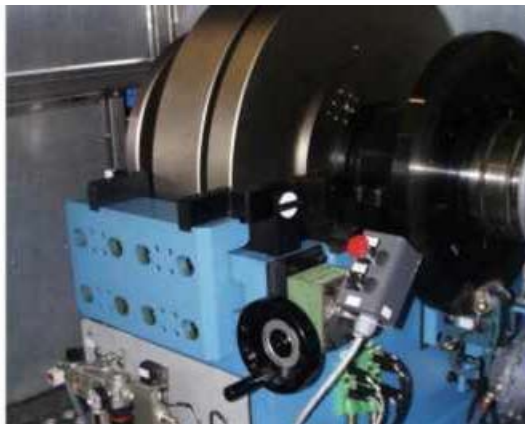


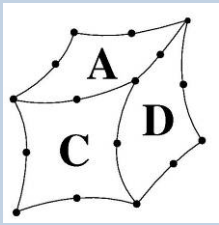


Problem



- Sehr viele Herstellungsparameter führen zu einer großen Vielzahl unterschiedlichster Belagprototypen
- Konventionelle Prüfstandskapazitäten sind knapp
=> Wartezeiten / Voranmeldung bis 6 Monate
- Prüfkosten sind enorm
 - Belagherstellung => Trägerplatte, Belag
 - Prüfstand (Dynamometer)

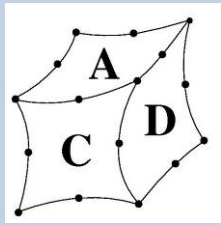




Lösungsidee

- Entwicklung eines vereinfachten Prüfverfahrens zur Beurteilung von Bremsbelagqualitäten
- Anforderungen
 - Kleinere Reibflächen
 - Schnell durchführbar
 - Ergebnisse vergleichbar mit konventionellen Belagprüfständen



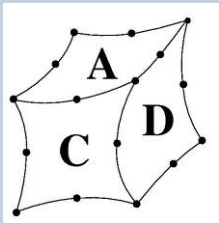


Bremsbelagprüfstand

Anforderungen



- **Allgemeine Daten:**
 - Bremsendrehzahl bis ca. 2.300 1/min
 - Mittlere Relativgeschwindigkeit bis ca. 43 m/s (bei Scheibendurchmesser 380 mm)
 - Modularer Aufbau auf Aufspannplatte
 - Durchführung vergleichender Nicht-Norm-Messungen
- **Zeitliche Messdatenerfassung und -aufzeichnung über Kontrollrechner:**
 - Bremsendrehzahl n über Drehzahlsensor E-Motor (via FU)
 - Bremsmoment M über Messwelle
 - Temperatur in der Bremsscheibe über 1 Thermoelement T_{Scheibe} (via Telemetrie)
 - Temperatur in der Bremszange über 1 Thermoelement T_{Zange}
 - Systemdruck im Bremssystem p über Proportionaldruckregelventil
- **Stellgrößen (manuell oder über Kontrollrechner betätigt):**
 - Bremsendrehzahl n (über Frequenzumrichter des Asynchronmotors)
 - Systemdruck im Bremssystem p über Proportionaldruckregelventil



Bremsbelagprüfstand

Versuchsparameter



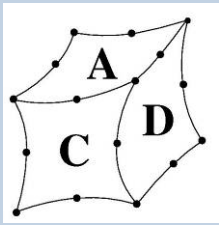
Geplante Variation der Parameter:

$q_{a_Einzel} = 220 \text{ J/mm}^2$
 $q_{a_Summe} = 5.000 \text{ J/mm}^2$
 $W_r/Schaltung = 88.000 \text{ J}$

Extremwerte:

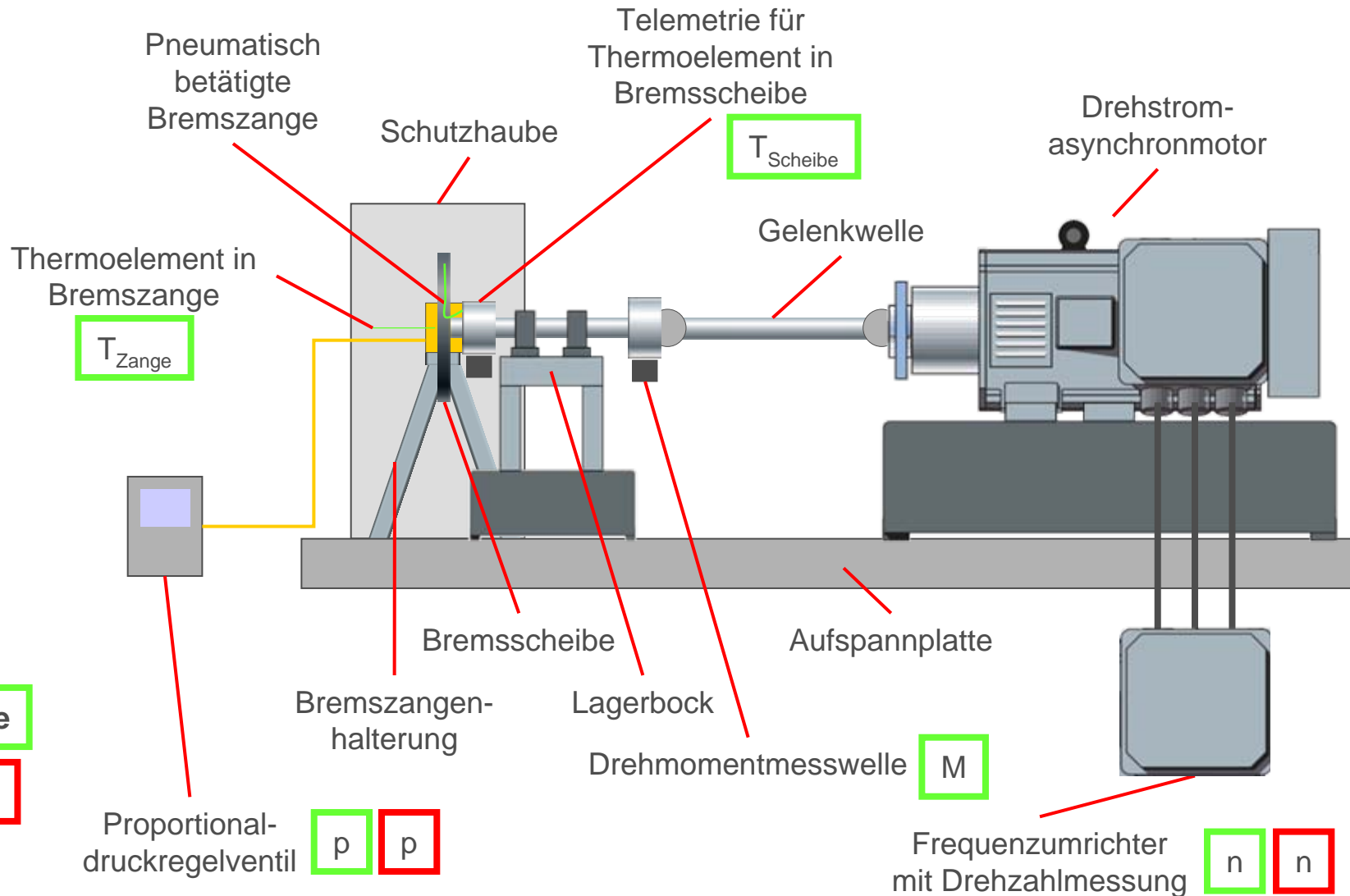
- ✓ $n_{\text{Scheibe}} = 2.262 \text{ 1/min}$
- ✓ $\text{Pressung} = 3,25 \text{ N/mm}^2$
- ✓ $\text{Drehmoment} = 187,4 \text{ Nm}$
- ✓ $\text{Schaltzeit} = 2 \text{ s}$

Pressung [N/mm²]		0,54	1,63	2,44	3,25
Anpresskraft [N]		216	650	976	1301
Drehmoment [Nm]		31,1	93,7	140,5	187,4
v_Scheibe [m/s]	n_Scheibe [U/min]	Spez. Reibleistung [W/mm²]			
3,41	181	0,74	2,22	3,33	4,44
17,40	923	3,76	11,32	16,98	22,64
27,29	1448	5,89	17,75	26,64	35,51
42,64	2262	9,21	27,73	41,62	55,48
v_Scheibe [m/s]	n_Scheibe [U/min]	Bremszeit als Funktion der spez. Reibarbeit [s]			
3,41	181	149,3	49,6	33,1	24,8
17,40	923	29,3	9,7	6,5	4,9
27,29	1448	18,7	6,2	4,1	3,1
42,64	2262	11,9	4,0	2,6	2,0
v_Scheibe [m/s]	n_Scheibe [U/min]	Gleitweg pro Bremsung [m]			
3,41	181	509,3	169,1	112,7	84,5
17,40	923	509,3	169,1	112,7	84,5
27,29	1448	509,3	169,1	112,7	84,5
42,64	2262	509,3	169,1	112,7	84,5
Anzahl Schaltungen bis q_{a_Summe}					23
v_Scheibe [m/s]	n_Scheibe [U/min]	Gleitweg Gesamt [m]			
3,41	181	11574	3844	2561	1921
17,40	923	11574	3844	2561	1921
27,29	1448	11574	3844	2561	1921
42,64	2262	11574	3844	2561	1921



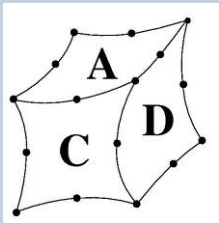
Bremsbelagprüfstand

Schematischer Versuchsaufbau



Messgröße

Stellgröße



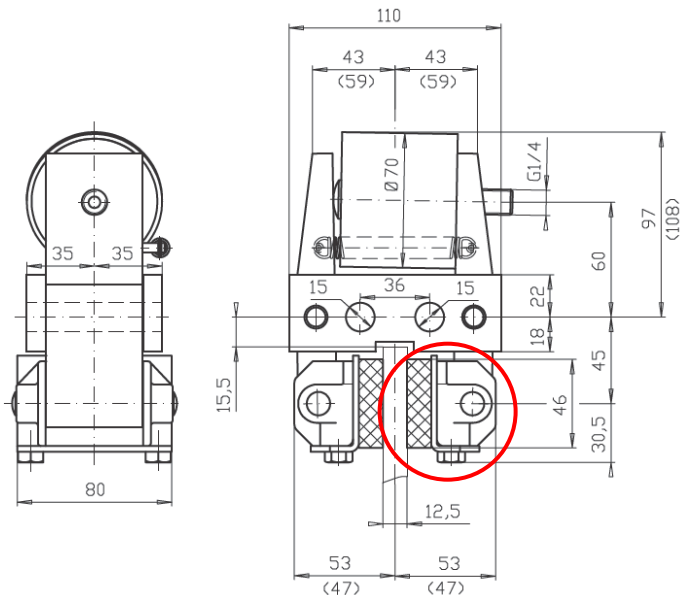
Bremsbelagprüfstand

Bremszange und Bremsbelag

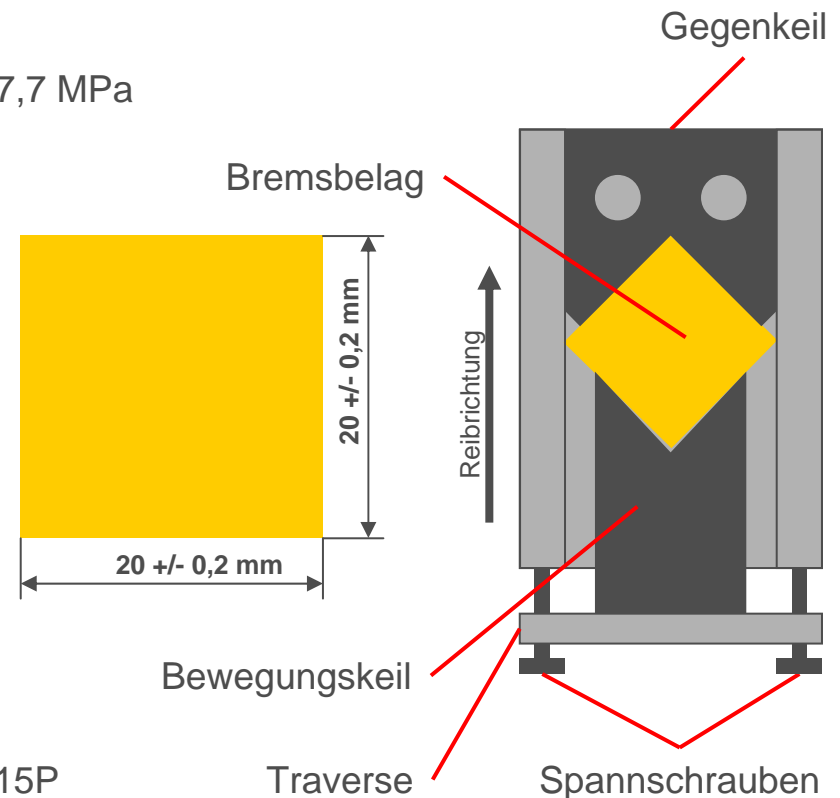


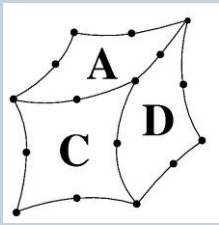
UNIVERSITÄT
BAYREUTH

- **Bremszange:** modifizierte Ringspann DH15P (pneumatisch betätigt, federgelüftet)
 - Angepasst an Scheibendicke 38-40 mm
 - Belagträger für Probengeometrie: 20 mm x 20 mm x 12 mm (Toleranz ca. +/- 0,2 mm)
 - Bremsdruckvoreinstellung und dosierte -aufgabe über Pneumatiksystem
 - Maximaler Systemdruck 6 bar
 - Maximale Belagflächenpressung ca. 7,7 MPa



Zeichnung Originalbremszange Ringspann DH15P





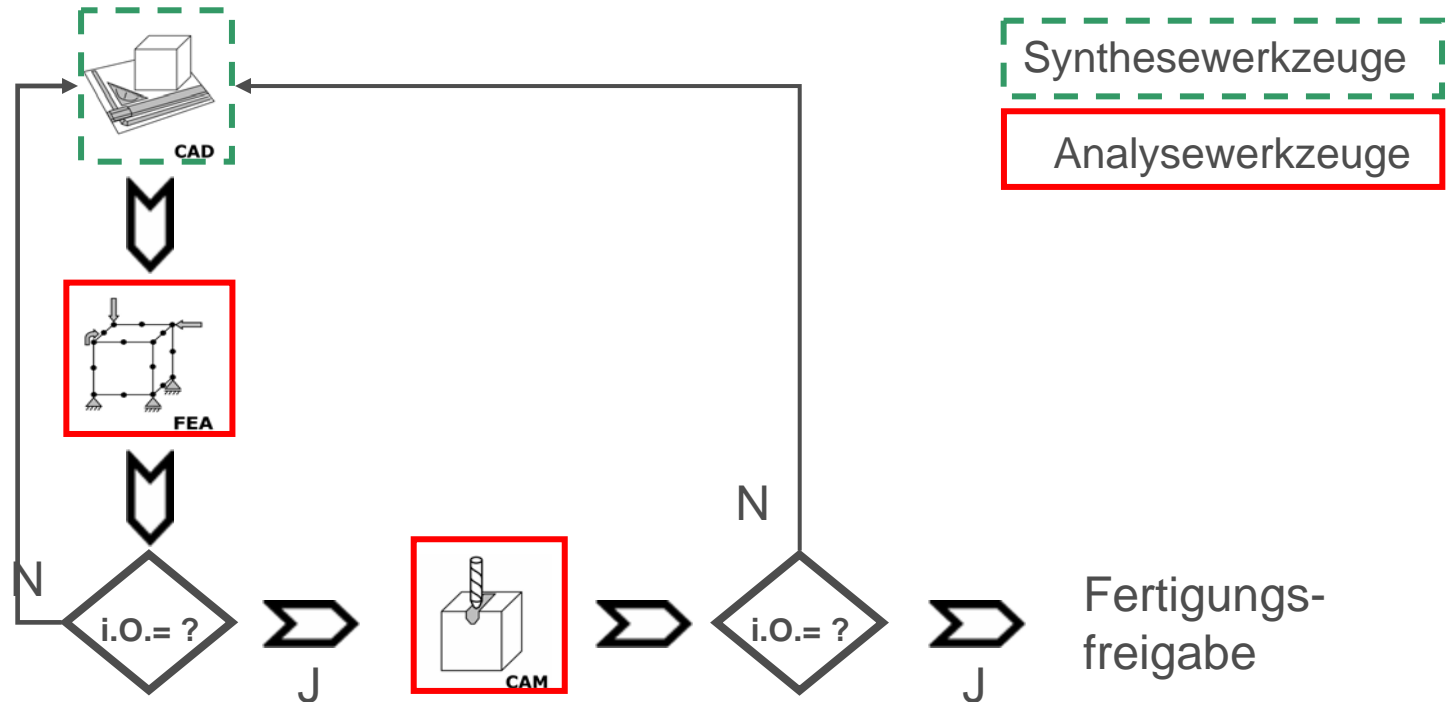
Bremsbelagprüfstand

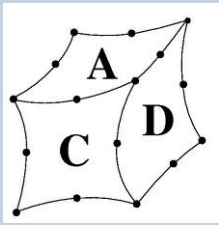
ICROS



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

ICROS Intelligent Cross-linked Simulations Verfahren zur Optimierung der Simulationsprozesskette



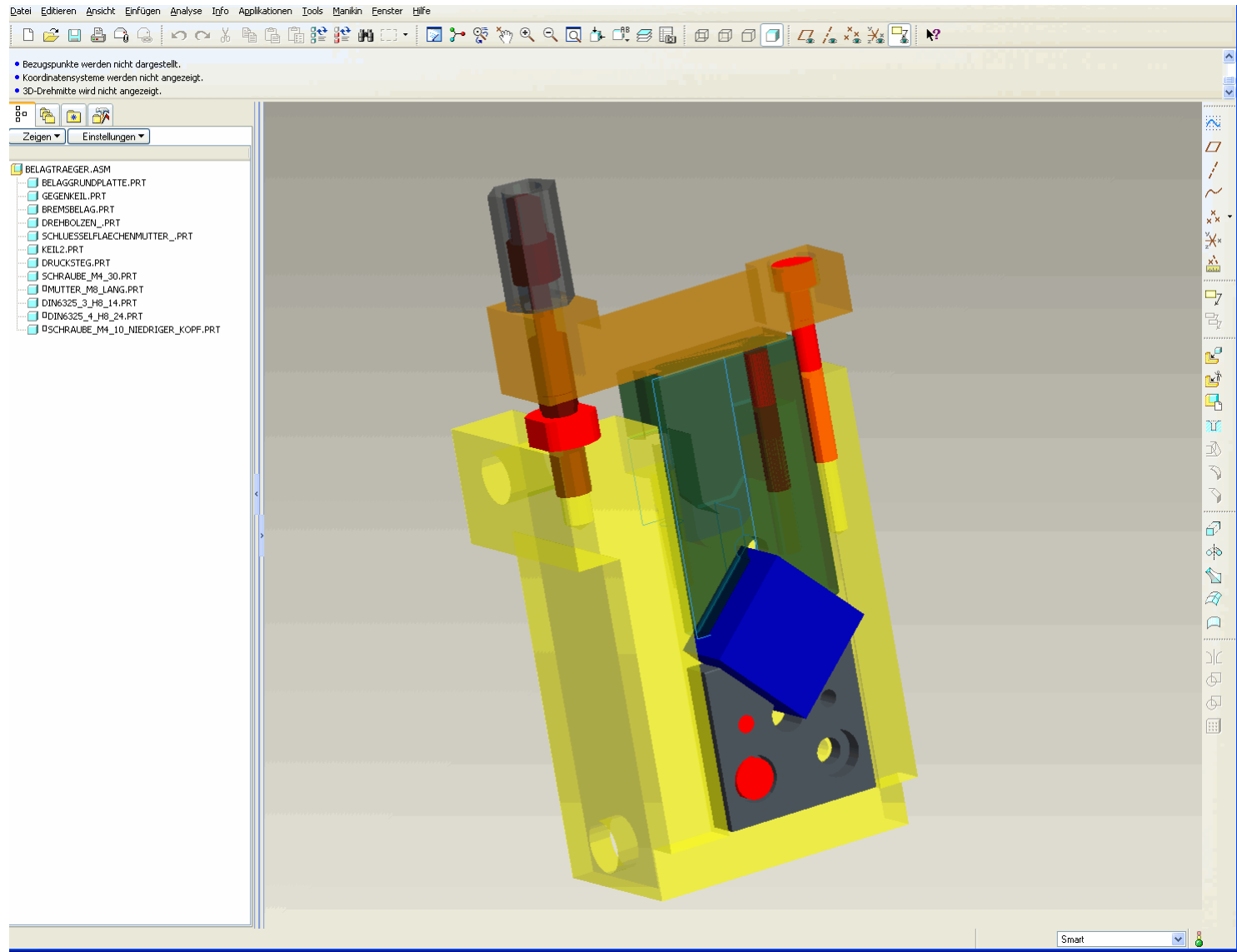


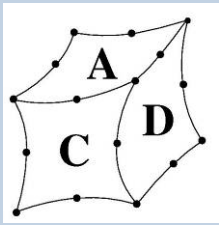
Bremsbelagprüfstand

ProE Modellierung Belaghalterung



UNIVERSITÄT
BAYREUTH



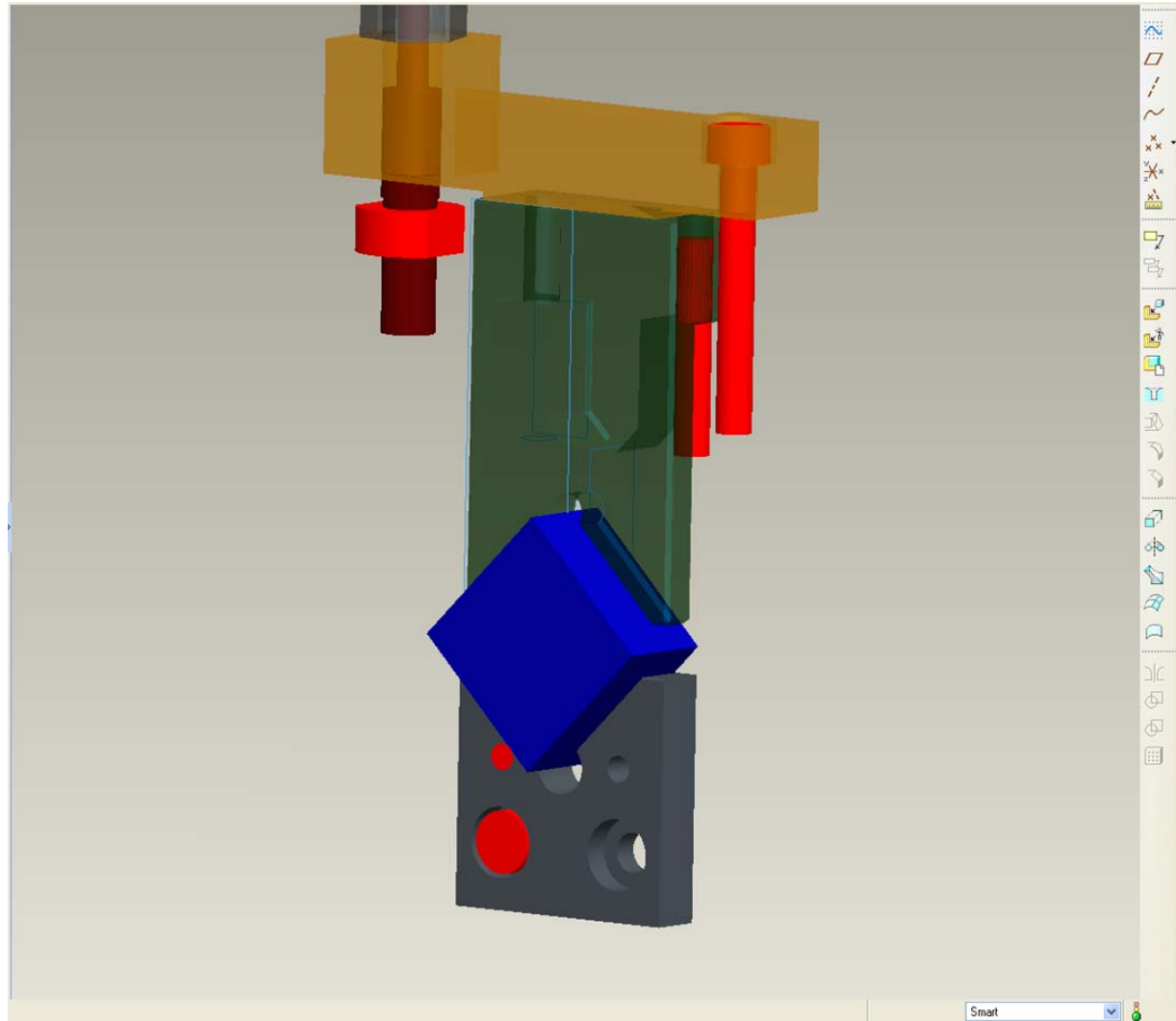


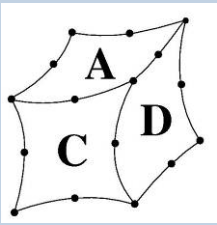
Bremsenprüfstand

ProE Modellierung, Ausblenden von Teilen



UNIVERSITÄT
BAYREUTH





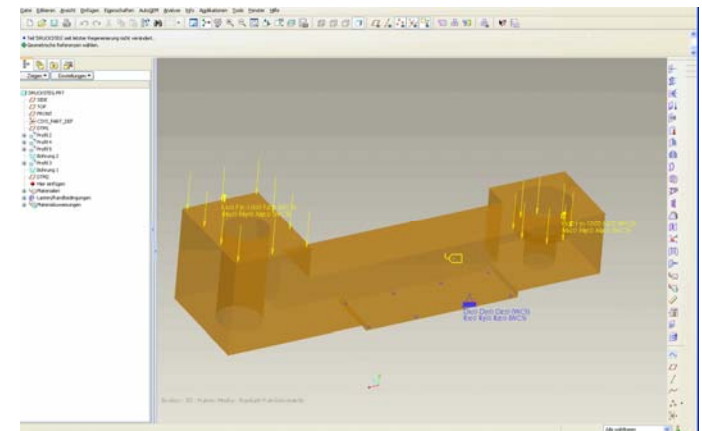
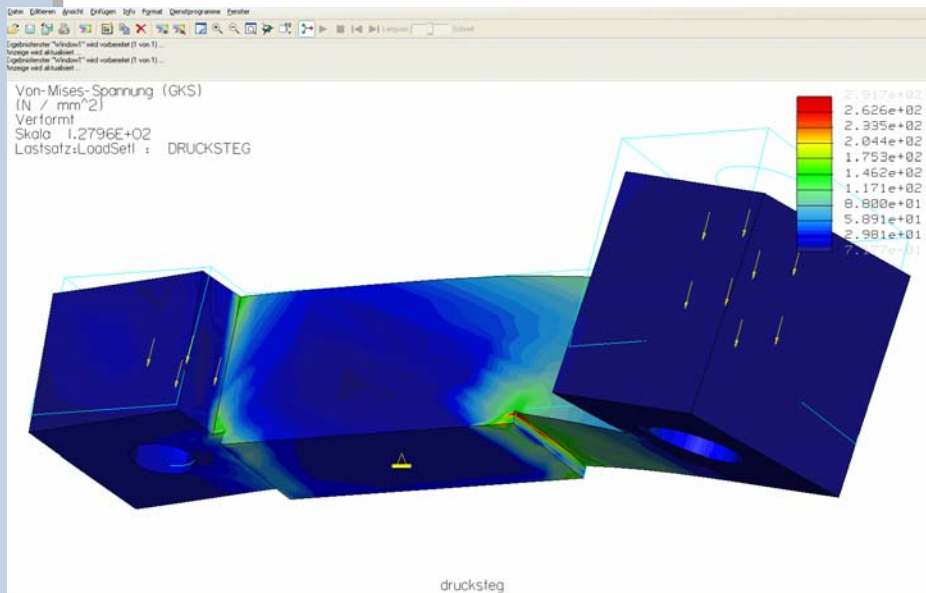
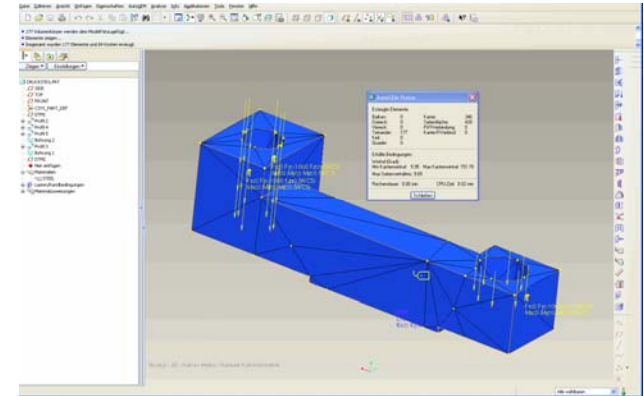
Bremsenbelagprüfstand

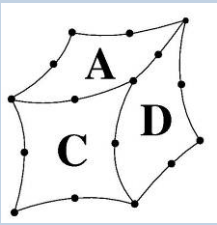
ProE Mechanical Components



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Halterungen:
FEM Belastungssimulation
z.B. Alternativen => Druckstegform



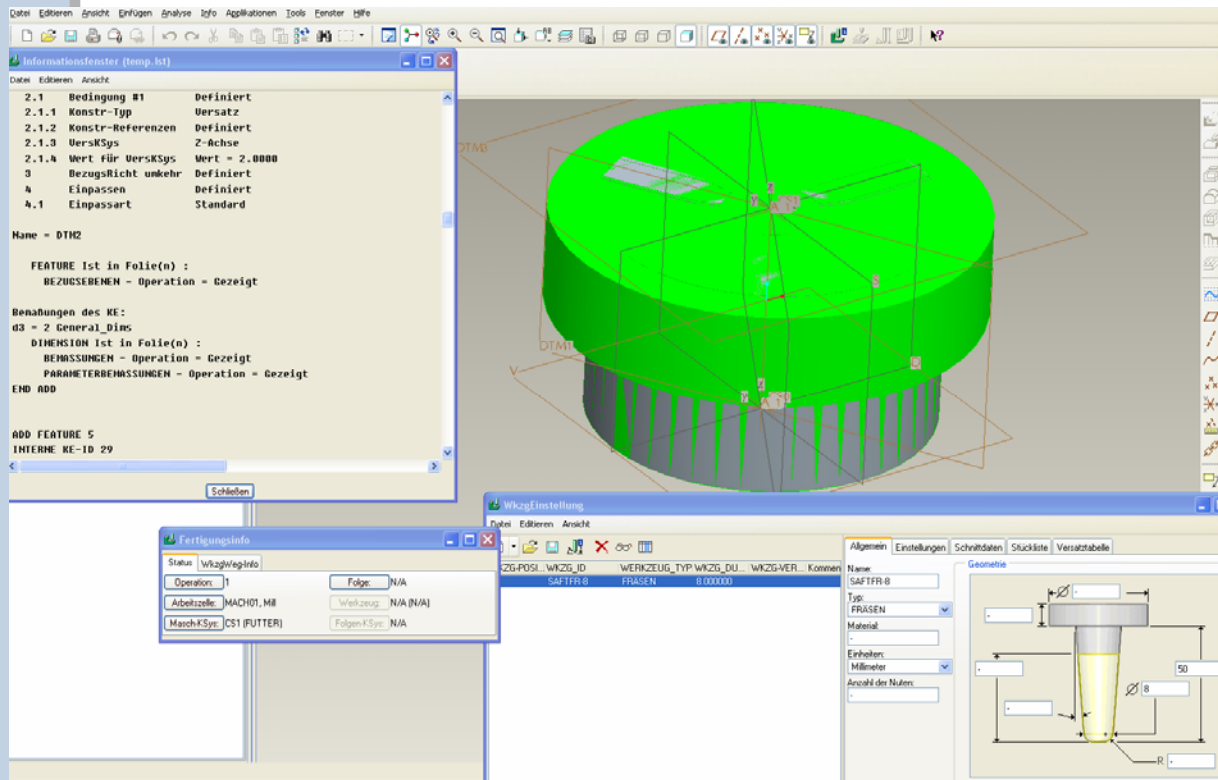


Bremsbelagprüfstand

ProManufacturing

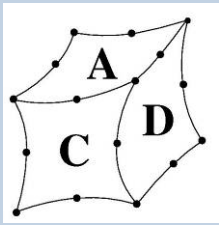


UNIVERSITÄT
BAYREUTH



```

0 BEGIN PGM ZAHN-PL1 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-5
2 BLK FORM 0.2 X+290 Y+210 Z+0
3 TOOL CALL 11 Z S1000
4 TOOL DEF 19
5 L X-20 Y-20 Z+50 R0 F MAX
6 L Z+0 R0 F1500
7 APPR LCT X-1 Y+1 Z-5,5 R5 RR F800
8 L X+290 F450
9 L Z+100 R0 F MAX
10 L X+310 Y+220 R0 F MAX
11 L Z+0 R0 F MAX
12 APPR LCT X+285 Y+199,5 Z-5,5 R5 F
13 L X-5 F450
14 L Z+300 R0 F MAX M9
15 TOOL CALL 19 Z S1100
16 L X-20 Y-20 Z+50 R0 F MAX
17 L Z+0 R0 F1500
18 APPR LCT X-1 Y+1 Z-3 R5 RR F800 M
19 L X+290 F450
20 L Z+100 R0 F MAX
21 L X+310 Y+220 R0 F MAX
22 L Z+0 R0 F MAX
23 APPR LCT X+285 Y+199,5 Z-3 R5 RR
24 L X-5 F450
25 L Z+300 R0 F MAX M9
26 L X+0 Y+200 R0 F MAX M2
27 END PGM ZAHN-PL1 MM
  
```

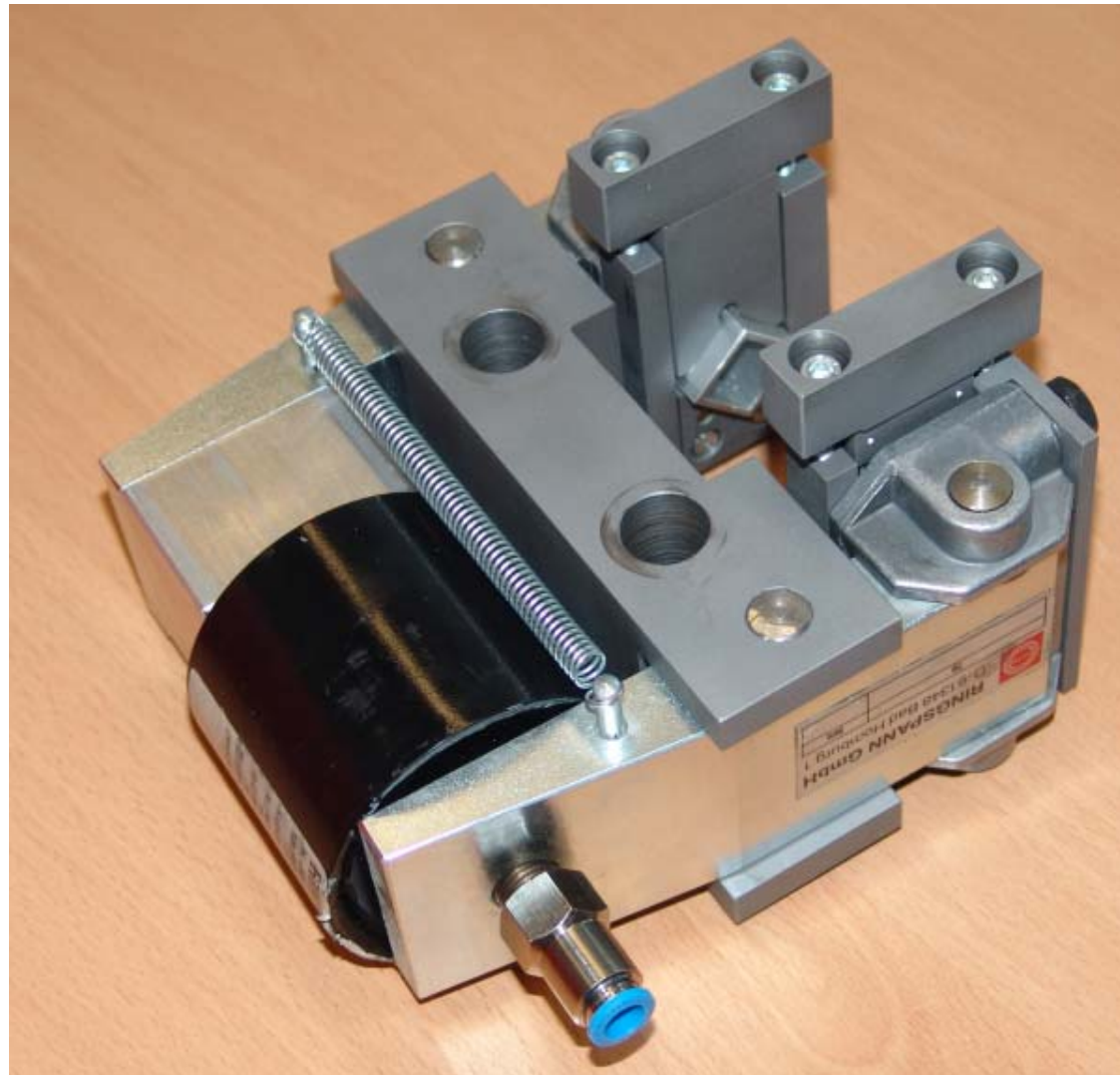



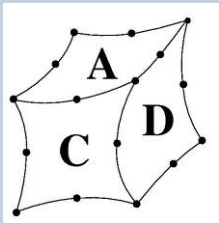
Bremsbelagprüfstand

Reales Bauteil



UNIVERSITÄT
BAYREUTH





Bremsbelagprüfstand

Aufbau des Prüfstands



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

- Derzeitiger Stand:

Telemetriesystem (Rotor)

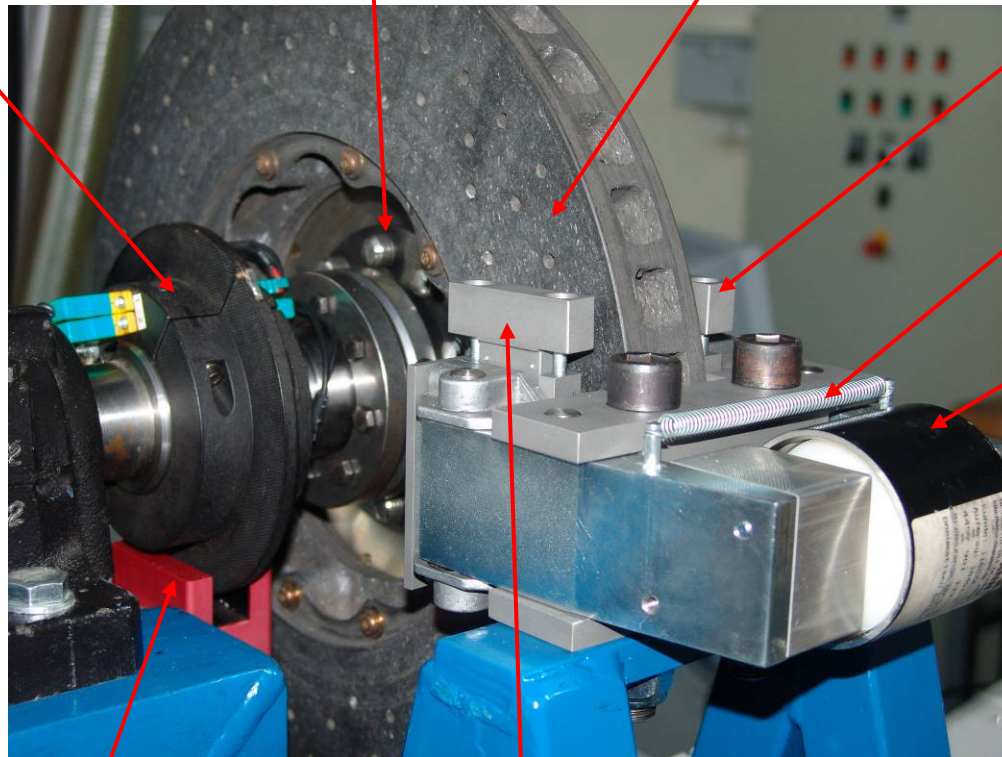
Lagerbock

Bremsscheibe

Rechte Halterung
Bremsbelag

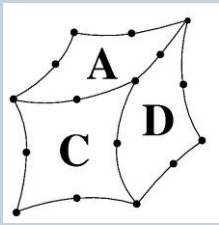
Rückholfeder

Pneumatikzylinder
für Betätigung



Telemetriesystem (Stator)

Linke Halterung
Bremsbelag



Bremsbelagprüfstand

Aufbau des Prüfstands

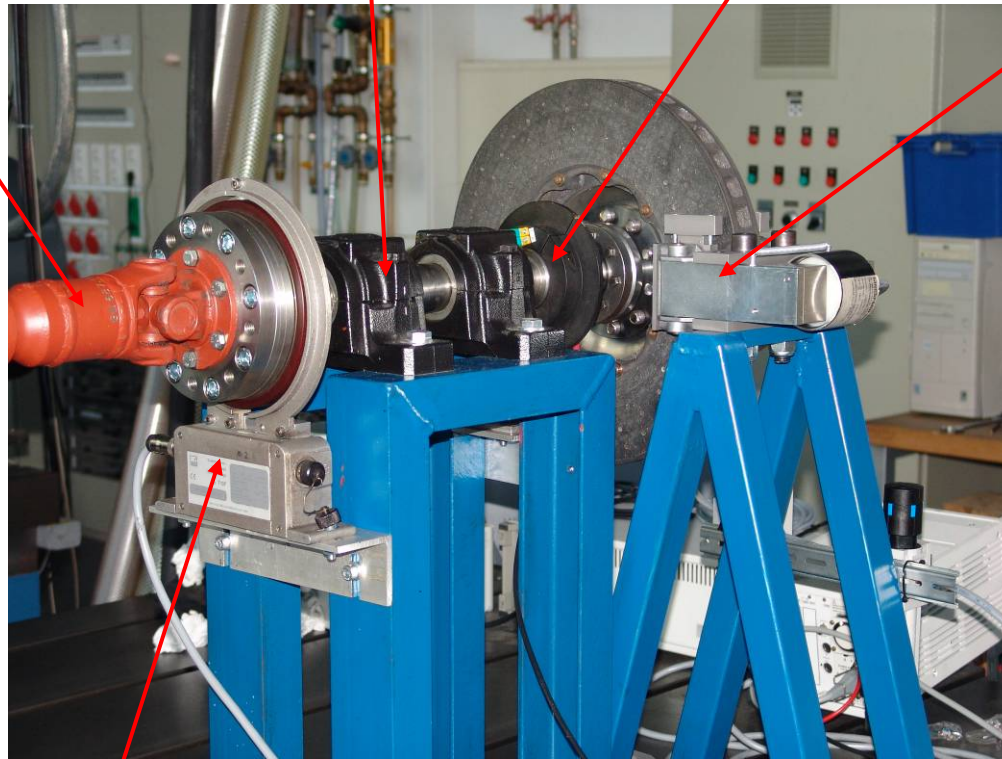
- Derzeitiger Stand:

Gelenkwelle vom Elektromotor

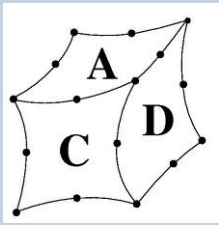
Lagerbock

Telemetriesystem

Bremszange



Drehmomentmessnabe



Bremsbelagprüfstand

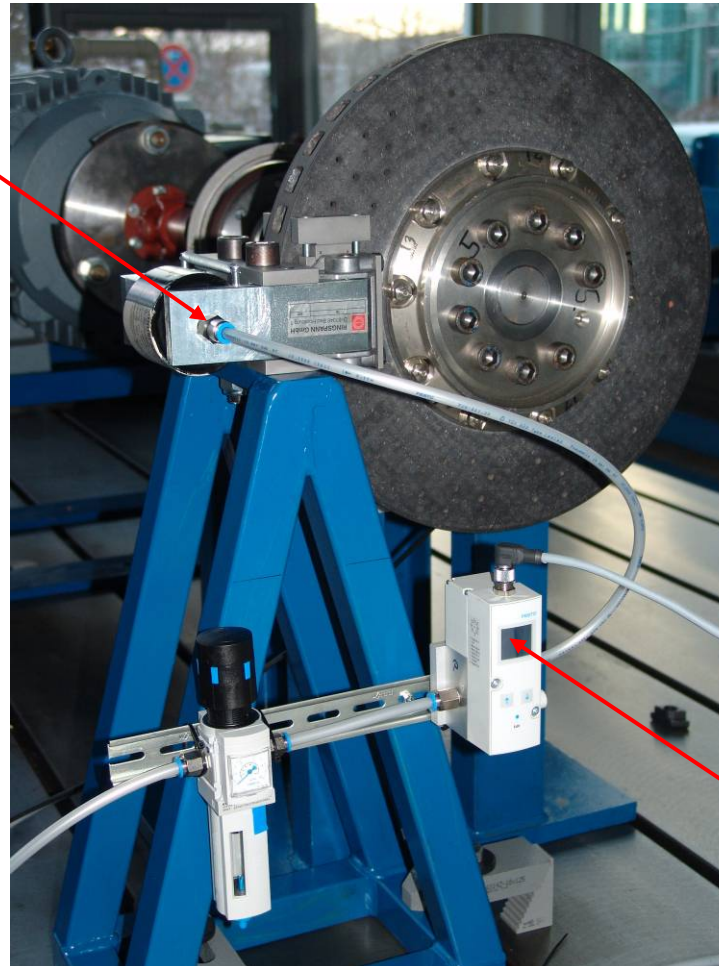
Aufbau des Prüfstands



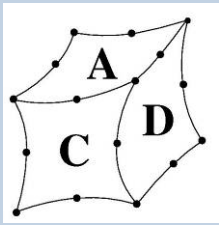
UNIVERSITÄT
BAYREUTH

- Derzeitiger Stand:

Bremszange



Proportionaldruckregler



Bremsenprüfstand

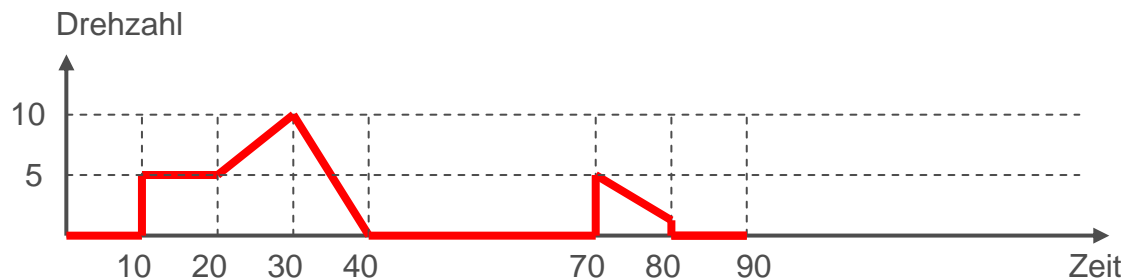
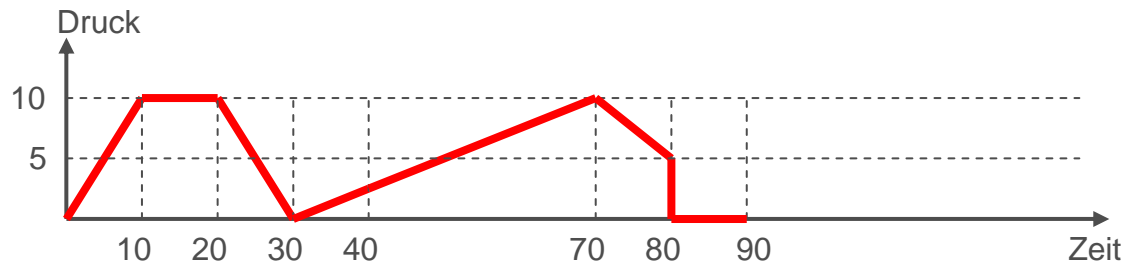
Prüfstandssteuerung und Messdatenerfassung

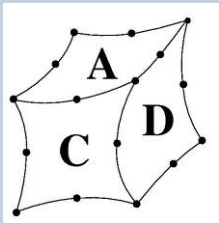
- Ansteuerung des Prüfstandes und Erfassung der Messdaten über Kontrollrechner mit LabView
- Ansteuerung von Bremsendrehzahl und Bremsdruck über
 - manuelle Vorwahl, Eingabe einfacher Messprogramme in die Bedienoberfläche** oder
 - Eingabe komplexerer Messprogramme (inkl. Rampen) in Textdatei** möglich.
- Grafische Darstellung** und **Aufzeichnung in Datei** für Messgrößen möglich

K:\Präsentation Bremsenprüfsta

	File	Edit	View	Settings	?
1	10	0	10	0	0
2	10	10	10	5	5
3	10	10	0	5	10
4	10	0	3	10	0
5	30	3	10	0	0
6	10	10	5	5	1
7	10	0	0	0	0

Zeit Druck Drehzahl





Bremsbelagprüfstand

Anbindung



- PC, handelsüblich
- Anbindung der Messtechnik über Messkarten der Fa. Meilhaus mit USB Schnittstellen

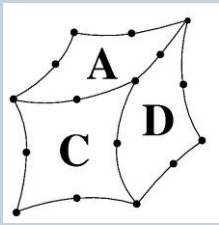


RedLab 3103



RedLab 1608FS





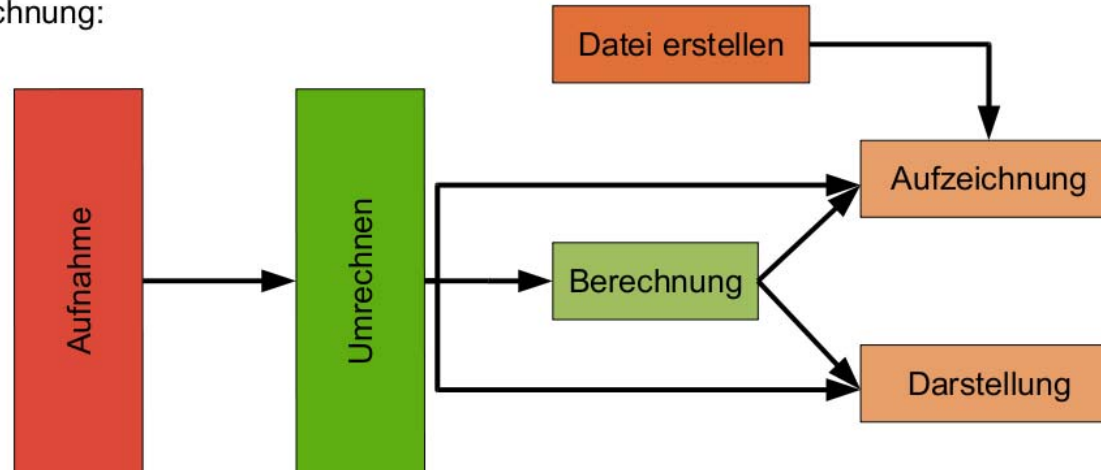
Bremsbelagprüfstand

LabView Ablaufplanung

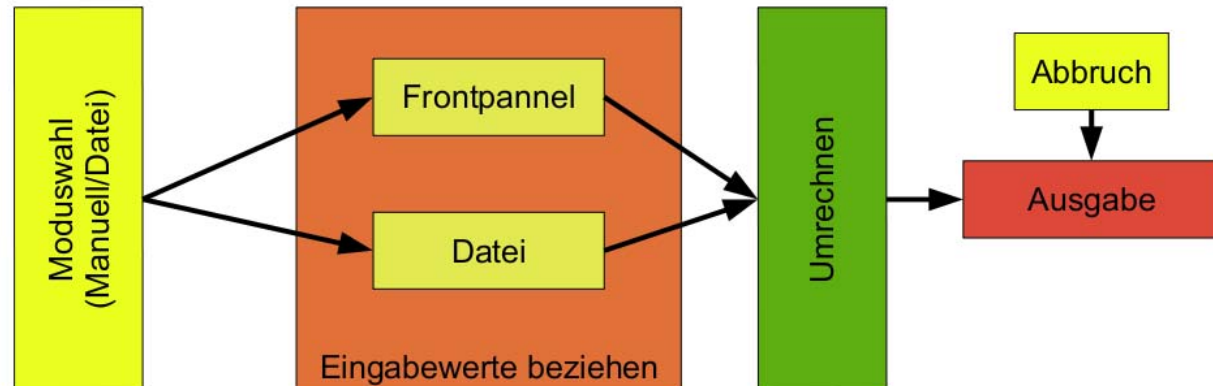


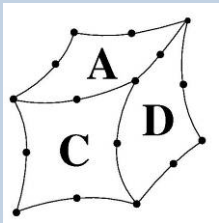
UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Aufzeichnung:



Steuerung:



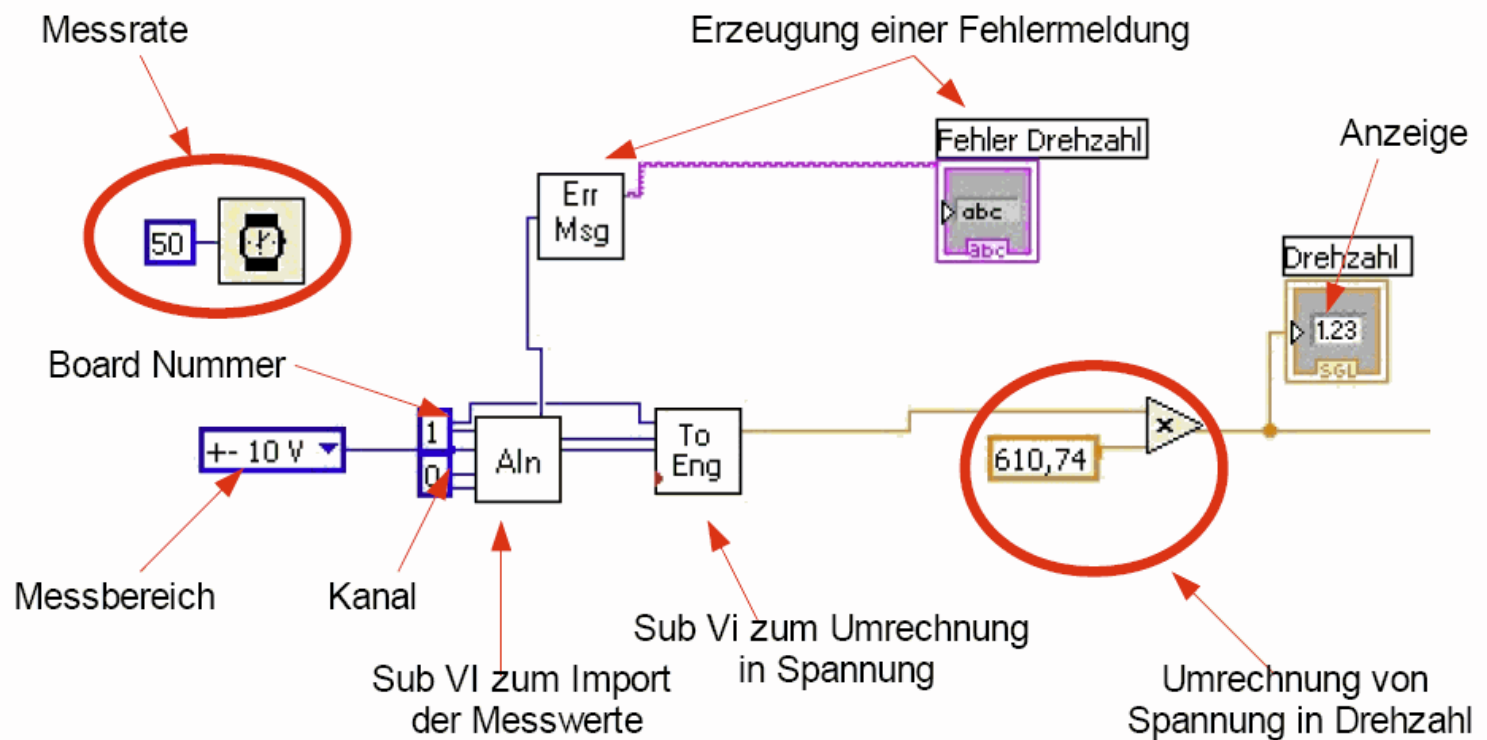


Bremsbelagprüfstand

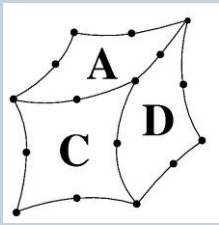
LabView 8.6 Programmierung



- Graphisches Frontpanel, Bsp. Import und Umrechnung der Messwerte im Blockdiagramm



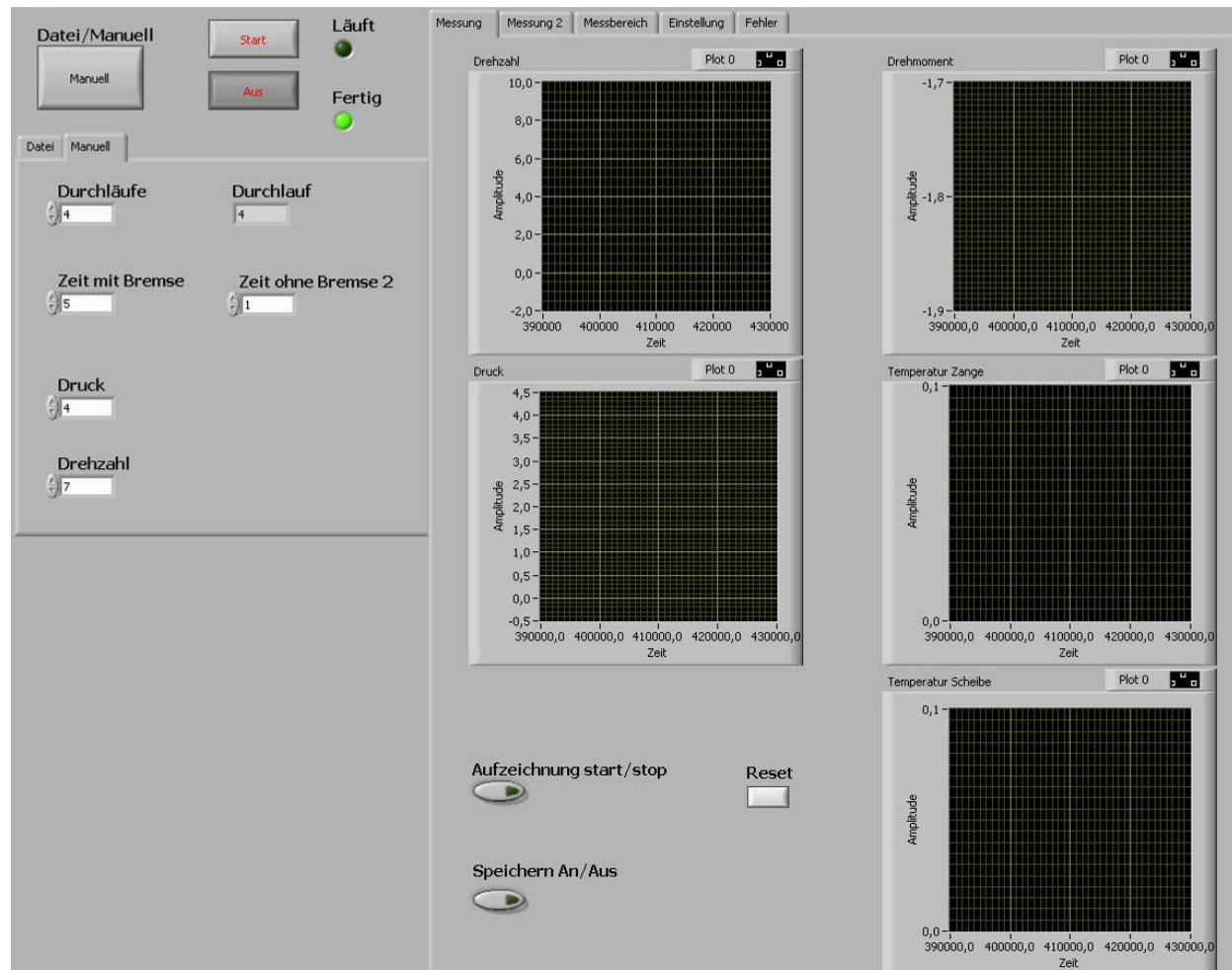


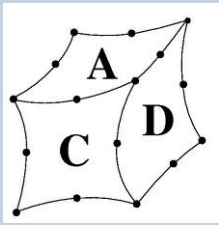


Bremsbelagprüfstand

Prüfstandssteuerung und Messdatenerfassung

- Bsp. derzeitiger Entwicklungsstand Bedienoberfläche:





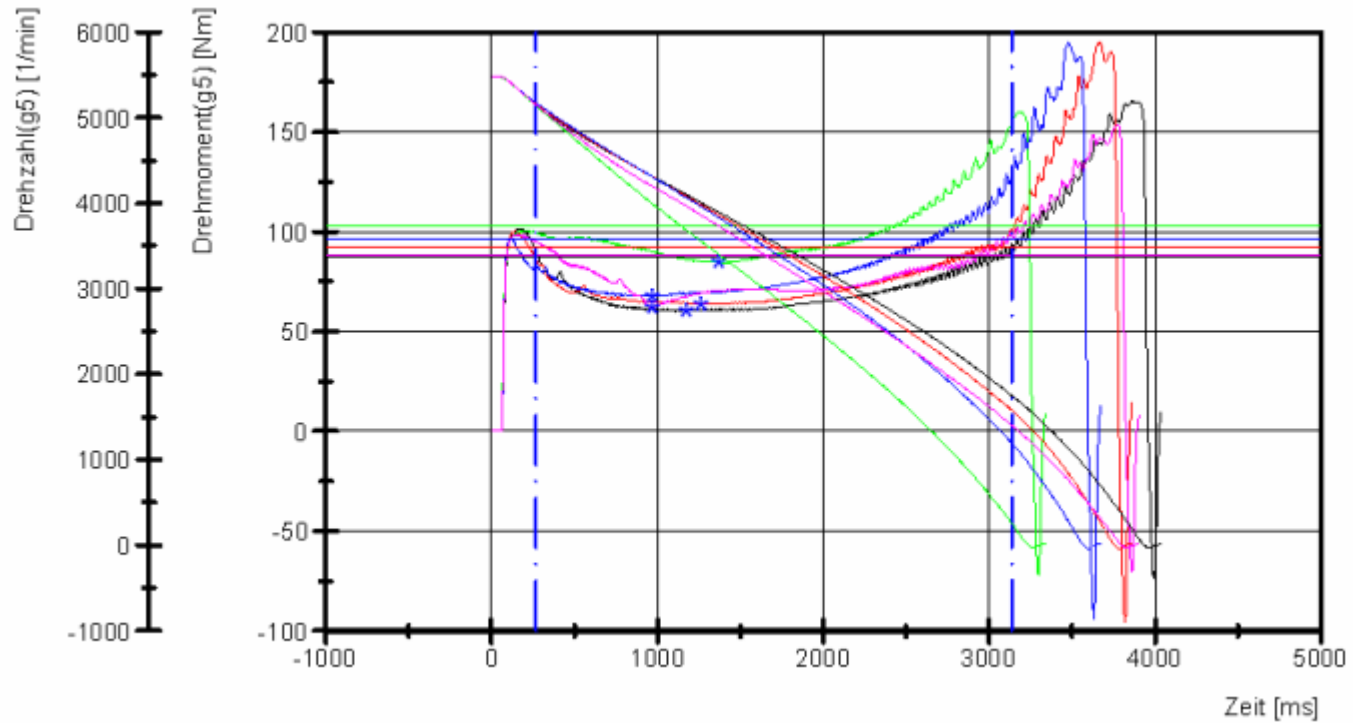
Bremsbelagprüfstand

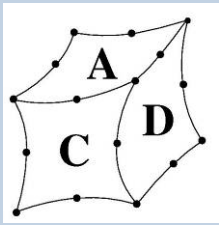
Ergebnissdarstellung



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Realer Drehmomentverlauf und hiervon abhängiger Drehzahlgradient!



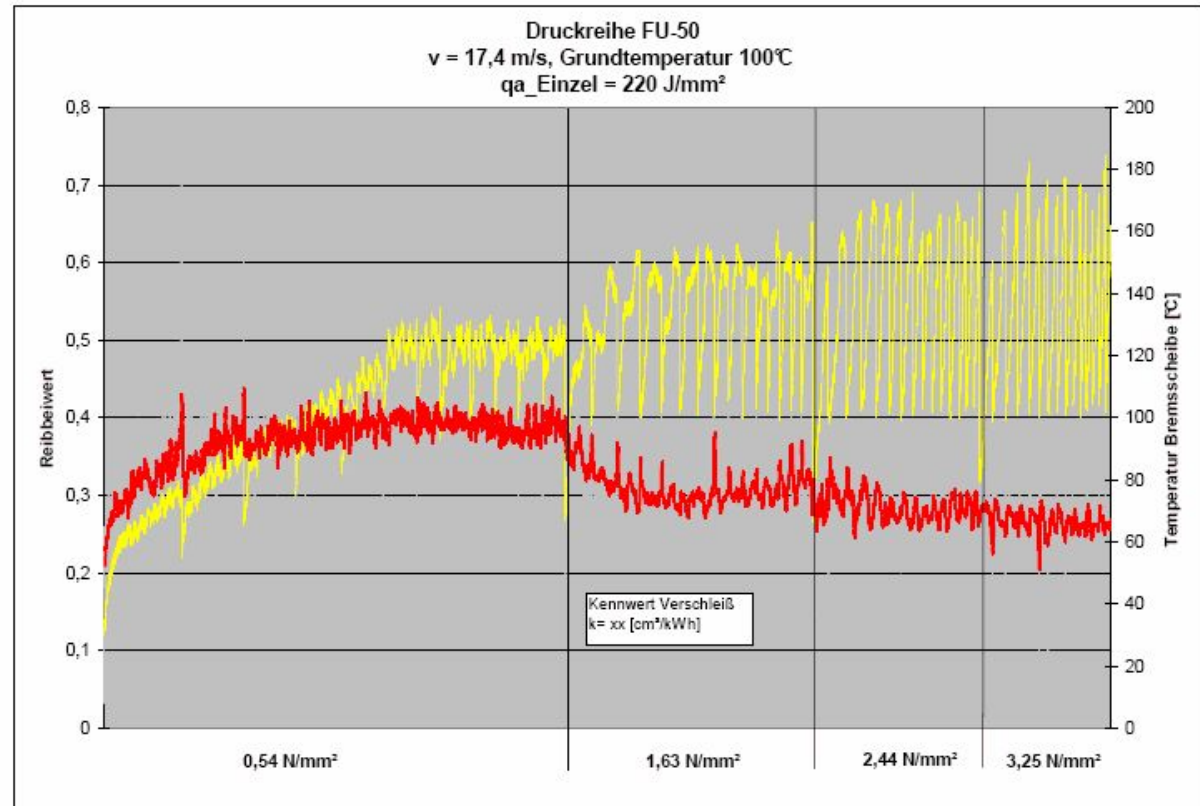


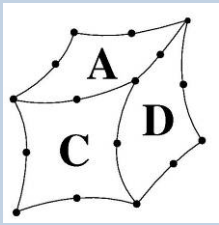
Bremsbelagprüfstand

Automatisierte Auswertung



UNIVERSITÄT
BAYREUTH





Bremsbelagprüfstand

Zusammenfassung



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

- Prüfstandsentwicklung durch eine virtuelle Simulationskette mit ProE und LabView sehr gut möglich
- Hohe Flexibilität bei Änderungen gegeben
- Entwicklungszeiten können minimiert werden
- Projekttransparenz und Kundenzufriedenheit sehr hoch
- Ergebnis:
 - Prüfstandsversuchsergebnisse erlauben eine sehr gute, mit herkömmlichen Belagprüfständen vergleichbare Aussage über die Qualität spezifischer Beläge
 - Belag- Vorauswahlverfahren wurde im Projekt als Standardvorgabe implementiert

